

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 04-205776

(43)Date of publication of application : 27.07.1992

(51)Int.Cl.

G11B 25/04

G11B 23/03

(21)Application number : 02-325646

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 29.11.1990

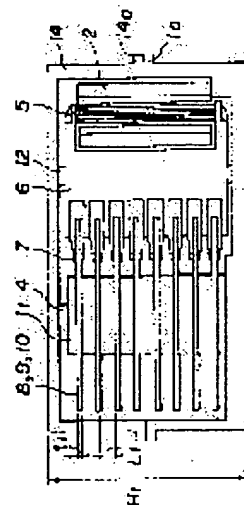
(72)Inventor : TAKATSUKA AKIO
AMANO HIDEAKI
NAKAMURA SHIGEO

(54) MAGNETIC DISK DEVICE

(57)Abstract:

PURPOSE: To prevent trouble following speeding-up of the rotation of a disk by fitting plural kinds of magnetic disks all at the same pitch (height) and enabling recording and reproducing any of the disks without changing the pitch (height).

CONSTITUTION: The disks 8-10 are layered via spacers around a spindle motor 4 and tightened by a clamp 11. The disks 8-10 can be fitted alternately with their different diameters. One end of an integrated carriage 6 made of an Al alloy is bonded with a magnetic head 7, and the other end part on the other side is fitted with a coil 5, and then the carriage 6 can be rotatively oscillated around a shaft 12. Provided that a disk having a diameter of 5.25 inches is reduced in thickness t_1 to be 1.27mm, the life of a bearing is extended as a result of its weight decrease. Then, motor rotation start-up characteristics, external vibration proof and external impact resisting characteristics can be improved, and undesired trouble following the high speed rotation can be evaded.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

⑫ 公開特許公報(A)

平4-205776

⑤Int.Cl.⁵G 11 B 25/04
23/03
25/04

識別記号

1 0 1 B
B
1 0 1 G

庁内整理番号

7627-5D
7201-5D
7627-5D

⑬公開 平成4年(1992)7月27日

審査請求 未請求 請求項の数 5 (全9頁)

⑭発明の名称 磁気ディスク装置

⑯特 願 平2-325646

⑰出 願 平2(1990)11月29日

⑱発明者 高 塚 章 郎 神奈川県小田原市国府津2880番地 株式会社日立製作所小田原工場内

⑱発明者 天 野 英 明 神奈川県小田原市国府津2880番地 株式会社日立製作所小田原工場内

⑱発明者 中 村 滋 男 神奈川県小田原市国府津2880番地 株式会社日立製作所小田原工場内

⑲出 願 人 株式会社日立製作所 東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地

⑳代 理 人 弁理士 武 顕次郎 外1名

明 細 書

1. 発明の名称

磁気ディスク装置

2. 特許請求の範囲

1. 所定のピッチ積み重ねた複数の磁気ディスクを回転駆動するスピンドル装置と、磁気ディスク面から浮上して記録または再生を行う磁気ヘッド装置と、スピンドル装置及び磁気ヘッド装置を収容するケースとを有する磁気ディスク装置において、前記磁気ディスクとして直径が異なるが厚みが同一である複数種の磁気ディスクを用い、前記スピンドル装置は、前記複数種の磁気ディスクをいずれも同一ピッチで取付け、前記磁気ヘッド装置は、前記複数種の磁気ディスクのいずれに対してもピッチを変更することなく記録再生ができるように構成したことを特徴とする磁気ディスク装置。
2. 前記複数種の磁気ディスクは、直径が5.25インチ及び3.5インチのものを含み、いずれも厚みが1.27mmないし1.905mm未満の範

囲で同一値としたことを特徴とする請求項1記載の磁気ディスク装置。

3. 前記複数種の磁気ディスクは、いずれも同一の記憶容量を有するように構成したことを特徴とする請求項1記載の磁気ディスク装置。
4. 前記複数種の磁気ディスクは、データ記憶領域の半径方向の幅に反比例してトラック密度を設定することにより、いずれの種類も同一の記憶容量を有するように構成したことを特徴とする請求項3記載の磁気ディスク装置。
5. 前記複数種の磁気ディスクは、データ記憶領域の半径方向の幅に反比例してトラック長方向の記録密度を設定することにより、いずれの種類も同一の記憶容量を有するように構成したことを特徴とする請求項3記載の磁気ディスク装置。
3. 発明の詳細な説明
(産業上の利用分野)
本発明は、スタックされた磁気ディスクを備え

た磁気ディスク装置に係り、特に、磁気ディスクの軽量化により高速回転を良好に行わせるとともに、磁気ヘッドアーム一体化キャリッジの軽量化により高速アクセスが行われるようにした磁気ディスク装置に関する。

〔従来の技術〕

従来の磁気ディスク装置では、例えば米国特許第4,796,122号明細書に記載されているように、ヘッド部は、ヘッドアームとキャリッジが一体形成されたいわゆる一体化キャリッジで構成され、ディスク駆動部は、インハブ構造（磁気ディスクの駆動モータの磁石、ステータ、及び巻線が、磁気ディスクを積み重ねて取付ける円筒状部の内部に実装されている構造）をしたスピンドルモータに磁気ディスクが9枚積み重ねて搭載され上部よりクランプされた構造となっており、特に、高速回転化のために磁気ディスクの厚みを減少してその軽量化を図ることについては触れられていない。

また、この種のスタック型のハード磁気ディスク

装置に用いられる磁気ディスクとして、従来、5インチ型と称して外径が130mm（5.25インチ）、内径が40mm、厚味が1.905mmのものが使われていたが、最近、3.5インチ型と称して外径が95mm（3.5インチ）、内径が25mm厚味が1.27mmのものが使われるようになって来ている。（以下、磁気ディスクを「円板」、外径が5.25インチのものを「5.25インチサイズ円板」、外径が3.5インチのものを「3.5インチサイズ円板」と称する）。しかし、5.25インチサイズ円板と3.5インチサイズ円板とでは、上記のように厚味が異なり、それに伴って磁気ディスク装置におけるスピンドル装置にスタックされる各円板の高さ（ピッチ）や対応する磁気ヘッドの高さ（ピッチ）も異なっている。

〔発明が解決しようとする課題〕

上記従来技術は、円板の厚さ及び重量から発生する課題つまり、特性上必要な円板の最低剛性、クランプ締付けによる許容円板変形量、高速回転化に対するモータベアリングが支持する円板総重

量に関連した耐外部振動／耐外部衝撃特性（装置全体に外部から振動や、衝撃が加わったときの円板の変形量及びモータのベアリングに対するダメージをいう。この場合、変形量及びベアリングに対するダメージ量の割合を％で表わす。この値は、外部からの振動、衝撃に対し、同一の加速度量では重量が軽いもの程小さくなる。）およびベアリング寿命の最適化（装置として必要な寿命に対してマージンを持たせ、長寿命化を図ること）まで配慮されておらず、主に、記憶容量、面密度及び円板生産設備と材料等の面から一義的に円板厚さが決定されていた。

また、従来技術では、5.25インチサイズ円板を用いる磁気ディスク装置と、3.5インチサイズ円板を用いる磁気ディスク装置とで、スピンドルに対する円板の取付ピッチ（高さ）及び対応する磁気ヘッド装置の各ヘッドのピッチ（高さ位置）が異なるため、5.25インチサイズ円板用の磁気ディスク装置を用いて3.5インチサイズ円板の記録再生を行うことはできなかった。

したがって、本発明の目的は、上記従来技術の問題点を解決し、外径の異なる複数種の磁気ディスクの記録再生を行うに当り、外径の比較的大きい磁気ディスク（5.25インチサイズ円板）用として設計した磁気ディスク装置により、外径の比較的小さい磁気ディスク（3.5インチサイズ円板）も使用できるようにした磁気ディスク装置を提供することにある。

本発明の他の目的は、ケースの大きさは5.25インチサイズ円板用として設計した磁気ディスク装置を用いて、それよりも外径の小さい磁気ディスクを扱うことのできる磁気ディスク装置を提供することにある。

本発明の更に他の目的は、磁気ディスクをできるだけ軽量とすることによつて、磁気ディスクの回転の高速化に伴うトラブルの発生を回避する磁気ディスク装置を提供することにある。

本発明の更に他の目的は、外径の異なる各種の磁気ディスクの記憶容量を同一とすることのできる磁気ディスク装置を提供することにある。

〔課題を解決するための手段〕

上記目的を達成するため、本発明の磁気ディスク装置は、磁気ディスクとして直径が異なるが厚みが同一である複数種の磁気ディスクを用い、磁気ディスクを回転駆動するスピンドル装置には、これらの複数種の磁気ディスクをいずれも同一ピッチ（高さ）で取付け、また、磁気ヘッド装置はそれら複数種の磁気ディスクのいずれに対してもピッチ（高さ）を変更することがなく記録再生ができるように構成する。

具体的には、複数種の磁気ディスクは、直径が5.25インチのものと3.5インチのものを含み、いずれも厚み1.27mmないし1.905mm未満、好ましくは1.27mmとする。

また、これらの複数種の磁気ディスクは、記憶容量が同一になるようにするため、トラック密度またはトラック長手方向の記録密度を、磁気ディスクのデータ記憶領域の半径方向の幅に反比例させる。

〔作用〕

7

比率で減少するので、磁気ディスクの回転速度の高速化が支障なく行えるようになる。

また、5.25インチサイズ磁気ディスクの厚みを1.27mmとすれば、現用の3.5インチサイズ磁気ディスクの厚み1.27mmと同一となることから、現用3.5インチサイズ磁気ディスクの加工技術及び加工機を流用したまま容易に変更して5.25インチサイズ磁気ディスクの製造加工を行うことが可能になる。

ここで、厚さを1.27mmとした理由について説明する。円板の表面は磁気ヘッドが0.2μm程度の浮上量で浮上するために、精度よく滑らかに加工する必要がある。この表面粗さを保持しながら加工するためには、ある程度の円板厚さが加工技術上必要となり、現在得られる最小の値が1.27mmである。（したがって、加工技術が改良されて可能となれば、薄い程よい。）なお、円板の基板材料としては、強度、重量などの点で、現用のAlやガラスが用いられる。

さらに、各種の磁気ディスク、例えば3.5イン

上記構成に基づく作用を説明する。

本発明によれば、直径の異なる複数種の磁気ディスクの厚みを同一とすることにより、スピンドル装置に対する磁気ディスクの取付けピッチ（高さ）及び各磁気ディスクに対する各磁気ヘッドのピッチ（高さ）を、これら複数種の磁気ディスク間で同一とすることができるので、大径磁気ディスク用の磁気ディスク装置を使つて、小径磁気ディスクの記録再生を行うことが可能になる。

具体的には、大径磁気ディスクは外径が標準の5.25インチサイズ、小径磁気ディスクは外径が3.5インチサイズであり、厚みは共に1.27mmである。従来は、3.5インチサイズで厚みが1.27mmのものは知られていたが、5.25インチサイズでは厚みが1.905mmのものしかなく、厚みが1.27mmのものは知られていない。したがって、5.25インチサイズでは、従来技術に比べて厚みが1.905mm→1.27mmと33%減少し、重量も同様に減少し、ベアリング負担重量、回転体慣性モーメント、ジャイロモーメントも同様な

8

チサイズの磁気ディスクの記憶容量を5.25インチサイズの磁気ディスクの記憶容量と同一としたので、3.5インチサイズのものを、5.25インチサイズと同じデータ量の記録再生に用いることができる。

〔実施例〕

以下に、本発明の実施例を図面によつて説明する。

第1図は本発明の一実施例の磁気ディスク装置の全体構成の概略の斜視図である。同図において、基本構成部品を外部外気より密閉するベース1とカバー（本図では省略）とは、防振ゴム13を介してフレーム3に支持固定されている。ベース1には、円板を定速回転するためのスピンドルモータ4が搭載され、スピンドルモータ4には、その周囲に複数の円板8又は9又は10が所定の間隔をあけるためのスペーサを介して積層され（インハブ型構造）、上部においてクランプ11よりネジにて締付けられている。ここで、8は直径が5インチ（正確には5.25インチ）サイズの円板、

9

10

9は直径が3.5インチサイズの円板、10は直径が2.5インチサイズの円板で、本実施例では、これらの各種円板を交代して取付けることができるようになっていいる。また、記録再生を行う磁気ヘッド7は、円板の回転により生じる浮力に対抗して該ヘッドの姿勢を制御するためのジンバルを介して、一体化キャリッジ（該浮力に対向し、ヘッドを磁気ディスク上に所定の浮上量で浮上させるための押圧力を発生させるロードアームと、キャリッジと、コイル支持部を一体化したもの）6の一端に接着により固定され、一体化キャリッジ6は、ビボットシャフト12のまわりに回転揺動可能に軸受機構により支持されており、ヘッド7とは逆の側の位置で、一体化キャリッジ6の端部にコイル5が取り付けられている。また、本実施例の特徴として、一体化キャリッジ6の材質は、アルミウム合金、マグネシウム合金、または、比重がアルミニウムよりも小さい物質例えば、樹脂等により形成される。キャリッジの回転中心軸の回りに回転運動を行うための軸受を、キャリッジに

11

減少し、(3)耐外部振動と耐外部衝撃特性を向上する等の効果がある。

さらに、円板8の回転数を、3600rpmから5400rpmに高速回転化する場合に、円板8の肉厚を薄形化することは、上記(1)~(3)の効果を得る上で特に有効である。回転数を高速化することは、回転数を n 倍にすると、総重量では変化しないが、ベアリング負荷は n^2 倍（ $F = m r \omega^2$ ）、ジャイロモーメントは n 倍（ $J = I \phi \omega$ ）、モータ回転特性は、単純比較は困難だが、回転数上昇により、起動時間は約 n 倍に増加するからである（ここで、 $\omega = 2\pi n$ ）。

この効果は、5.25インチサイズ円板8を、3.5インチサイズ円板9または2.5インチサイズ円板10、またはそれ以下の寸法の円板に変更することにより、同様に得られることはいふまでもない。

円板8の薄形化を行つた場合には、円板面垂直方向変位は、クランプ11の締めつけ力を弱めることにより少なくできる。クランプ11の締めつ

13

直接一体に結合している。ボイスコイルモータ2の磁石により発生する磁界中でコイル5に電流を流すことにより、コイル5にはビボットシャフト11まわりのトルクが発生し、これにより一体化キャリッジ6は回転駆動され、磁気ヘッドを磁気ディスク上の所定の位置に位置決めする。

一体化キャリッジ6には、ベアリング（図示せず）が直接上下方向から挿入されている。

今、本実施例の特徴として、直径が5.25インチの円板8で、従来肉厚1.905mmであつたのを1.27mmに変更すると円板総重量で肉厚比 $1.27/1.905 = 0.67$ 、67%に相当する分減少させることができる。この重量減少によつて(1)ベアリング負担重量は33%減少し、(2)回転体慣性モーメントも33%減少し、(3)外部及び自動振動に対するジャイロモーメントも33%減少することになるので、その効果として、(1)ベアリング寿命をのばし（支持重量減少分だけベアリングに加える与圧力減少が行なえるため）、(2)モータ回転起動特性を向上してモータ回転時の電流値を

12

け力は、円板8の薄形化により重量が軽量化されるため、耐衝撃および耐振動性の低下がない様に締めつけ力を弱めればよい。

円板8の薄形化は、円板8の一面当たりの記憶容量とは、無関係であるので、薄形化によつて記憶容量が低下することはない。

さらに、円板8を薄形化すると、円板8の総積層寸法が減少するので、部品実装空間が上/下部で拡大する。その結果、ベース1、カバー（図示せず）の肉厚を拡大し、剛性を高めることができるため、モータ軸振動及びキャリッジ軸振動の共振点を上昇することができる。

第2図及び第3図は、第1図の装置の横断面を示したものであり、ここでは、ベース1にカバー14を取付けた状態で示す。第2図は円板厚さ t が1.27mmの場合、第3図は t が1.905mmの場合の、それぞれ実装寸法関係を示したものである。板厚 t_1 、 t_2 について $t_1 < t_2$ なる関係が成立し、円板間隔 L_1 、 L_2 については $L_1 = L_2$ となるので、装置全体実装寸法 H_1 、 H_2

14

に関しては、 $(l_2 - l_1) \times 8$ 枚分で $H_1 < H_2$ なる関係が成立し、実装寸法の減少を行なうことができる。なお、 l_1 、 l_2 は、いずれも例えば 4.2 mm またはそれ未満とすることができる。

ベース 1 とカバー 14 とで密閉されたケースを構成し、両者はその高さ中央付近 1a、14a で分割されるようになっており、分割部が壁を有する碗形状に形成されていることにより、圧縮、ひねりに対するケース（カバー、ベース）の剛性を向上させ、スピンドルシャフト 4 及びキャリッジシャフト 11 の支持剛性を向上させ、その共振点を上昇する働きがある。

第 4 図及び第 5 図は、5.25 インチサイズの円板寸法を示したものである。第 4 図は厚さ 1.27 mm の本実施例に用いるものを示し、第 5 図は厚さ 1.905 mm の従来例を示す。板厚 1.27 mm は、3.5 インチの円板板厚さの標準値であり、3.5 インチ円板と同じ厚さにすることによつて、加工機及び材料の確保を容易にしている。また、これにより、5.25 インチ円板に設計した磁気デイス

ク装置を用いて、スピンドルに取付けられる複数の円板の高さ（各円板相互のピッチ）を変更することなく、かつ各円板に対応する各磁気ヘッドの高さ（ピッチ）を変更することなく、3.5 インチ円板を取付けて記録再生を行うようにすることができる。この場合、5.25 インチ円板と 3.5 インチ円板とで、内径（中心孔の直径）がほぼ同じものを用いるか、両円板の内径が異なつても取付可能なスピンドルを用いる必要がある。

5 インチ用のケース（ベースとカバー）で、3.5 インチのディスクを使用した場合、(1) 3.5 インチのディスクは 5.25 インチより安価である。(2) 3.5 インチディスクを実装すると HDA 全体の大きさを小さくでき、PCB 実装寸法を大きくとることができる。HDA Sway space を大きくとれ、(3) ディスク径が小さくなつてモータベアリングの受ける重量／慣性モーメント、ジャイロモーメントが小さくなる、等の利点がある。

第 7 図は 5.25 インチ磁気ディスクのデータゾーンを示す寸法図、第 8 図は 3.5 インチ磁気デ

15

スクのデータゾーンを示す寸法図である。両図で 15 はデータゾーン（記録領域）、8 は 5.25 インチ磁気ディスク、9 は 3.5 インチ磁気ディスクで、寸法の単位は mm である。

5 インチサイズの円板に代えて 3.5 インチの円板を使用できるようにするためには、両円板の記憶容量を同一とするとよい。このためには、5 インチサイズの円板のデータゾーン（データ記録領域）の半径方向の幅が 30 mm であり、3.5 インチサイズのデータゾーンの半径方向の幅が 20 mm で、その比率が $2/3$ となつていたので、BPI（線方向の記録密度：ビット／インチ）を同一にすると、TPI（半径方向のトラック密度：トラック数／インチ）を $3/2 = 1.5$ 倍とすればよい。あるいは、TPI を同一とすると、BPI を $3/2 = 1.5$ 倍に高くすればよい。

第 9 図は、外径 130 mm、内径 40 mm の 5.25 インチサイズの円板および外径 95 mm、内径 25 mm の 3.5 インチサイズの円板それぞれ 1 枚の場合の板厚に対する重量をプロットした図であり、

16

5.25 インチサイズの円板で厚さ t が 1.905 mm のとき 61.8 gr、 t が 1.27 mm のとき 41.2 gr となり 67% の重量となつて、33% の軽量化を行なえることがわかる。また、同一板厚 1.27 mm では 3.5 インチサイズ円板は 22.6 gr と、5.25 インチサイズ円板の 41.2 gr と比較し、約半分の重量となる。第 10 図は、外径 130 mm、内径 40 mm の 5.25 インチサイズの円板 8 枚または 10 枚の場合、および、外径 95 mm、内径 25 mm の 3.5 インチサイズの円板 8 枚または 10 枚の場合について円板厚さに対する円板総重量をプロットしたものである。この図から、5.25 インチサイズで厚み t が 1.905 mm の円板 8 枚をスタックした総重量は、厚み t が 1.27 mm の円板 10 枚をスタックした総重量よりも大きいことがわかる。同様のことが 3.5 インチサイズ円板及び 2.5 インチサイズ円板に対してもいえる。

以下に、上記実施例による機能上の特徴をまとめておく。

磁気ディスクの肉厚を 1.905 mm より 1.27

17

18

mmに薄肉化することにより、

- (1) 円板総重量は、第9図に示す様に1枚につき、61.8grから41.2grに約67%まで減少するので、円板8枚で比較すると、494grから330grまで軽減でき、この重量を支持するモータベアリングの寿命も、比例して長寿命化する作用がある。
- (2) 第10図に示すように、 t 1.905mmの円板8枚の総重量494grと比較し、 t 1.27mmの円板12枚の総重量と同じであるから、実装寸法の許容範囲内で t 1.27mmの円板実装枚数を、8枚より大きく12枚以下にすれば、回転起動特性、回転特性、ベアリング寿命等変化させずに、総記憶容量を増加させる作用がある。
- (3) 円板総重量が、約67%に軽減できるので、耐外部振動/耐外部衝撃特性は33%向上しかつ回転起動時の立上がり特性も、起動トルクは変化しないので、回転体慣性モーメントが軽減された分33%向上するか、又は起動特性を変

化させない場合でも、起動電流を33%減少させることができる作用がある。

- (4) 円板肉厚寸法 t が1.905mmから t 1.27mmに減少することにより、円板実装枚数8枚のとき、total 5.08mm実装高さ寸法が減少することになり、装置寸法高さを減少させ、①PCB (Package Board:回路基板) 実装や、②振動/衝撃によるHDA (Head Disk Assembly) のSway Space (HDAが振動して、他の部品と接触しないための隙間) の確保が出来る作用がある。
- (5) 上記(4)に関連して、円板実装高さ寸法が減少するに比例して、キャリッジ高さ寸法も5.5mmから4.9mmに約90%に減少するため、重量で90%減少し、キャリッジを支持するシャフト系の共振周波数は5.6%向上し、装置のオープンループ特性のゲインも0.47dB向上できる。その結果、セトリング時及びフオリング時の振動を押え込むことができる作用がある。

19

20

- (6) 高速回転化にともない、ベアリングの受ける遠心力とジャイロモーメントの関係は
(遠心力比: $m r \omega^2$)

回転数 $r p m$	3600	4800	5400	6000
t 1.905 \times 8 枚	1	1.78	2.25	2.78
t 1.27 \times 8 枚	0.667	1.19	1.5	1.85

(ジャイロモーメント)

回転数 $r p m$	3600	4800	5400	6000
J: 慣性モーメント	0.833	0.833	0.833	0.833
W: 回転角速度	1	1.33	1.5	1.67
ϕ : 外乱角速度	1	1	1	1
J W ϕ	0.833	1.108	1.27	1.39

の表のようになり、円板薄肉化することにより、増加分を、遠心力及びジャイロモーメントともに、67%に抑える作用がある。

(発明の効果)

以上詳しく説明したように、本発明によれば、直径の異なる複数種の磁気ディスクの厚みを同一

としたので、それら磁気ディスクのスピンダルへの取付けピッチ及び磁気ヘッドのピッチを各種ディスク間で同一として、大径用の磁気ディスク装置で小径用の磁気ディスクを扱うことが可能になる。

また、5.25インチサイズの磁気ディスクの場合、その厚みを3.5インチサイズ磁気ディスクの厚みと同じ1.27mmとしたので、従来の1.905mmのものに比べて重量を33%減らし軽量化される結果、記憶容量を低下させることなく、ベアリング寿命、モータ回転起動特性、起動時電流値減少、耐振動/耐外部衝撃特性を向上し、高速回転に伴う遠心力/ジャイロモーメントの増加を防ぎ、振動等の増加を抑えることができる。

4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明の一実施例の全体構成を示す斜視図、第2図は厚さ1.27mmの磁気ディスクを載置した磁気ディスク装置の断面図、第3図は厚さ1.905mmの磁気ディスクを載置した磁気ディスク装置の断面図、第4図は厚さ1.27mm薄

21

22

形5.25インチ磁気ディスクの斜視図、第5図は厚さ1.905mm標準5.25インチ磁気ディスクの斜視図、第6は厚さ1mm標準2.5インチ磁気ディスクの斜視図、第7図は5.25インチ磁気ディスクのデータゾーンを示す寸法図、第8図は3.5インチ磁気ディスクのデータゾーンを示す寸法図、第9図は5.25インチアルミ磁気ディスクと3.5インチアルミ磁気ディスクとのディスク厚みに対する重量の関係を示す図、第10図は5.25インチアルミ磁気ディスクと3.5インチアルミ磁気ディスクとのディスク8枚または10枚搭載時のディスク厚さ対総重量の関係を示す図である。

1 ……ベース、2 ……ボイスコイルモータ、3 ……フレーム、4 ……スピンドルモータ、5 ……コイル、6 ……一体化キャリッジ、7 ……磁気ヘッド、8 ……5.25サイズの磁気ディスク、9 ……3.5インチサイズの磁気ディスク、10 ……2.5インチサイズの磁気ディスク、11 ……ディスククランプ、12 ……ピボットシャフト、13 ……防振ゴム、14 ……

…カバー、15 ……データゾーン（記録領域）。

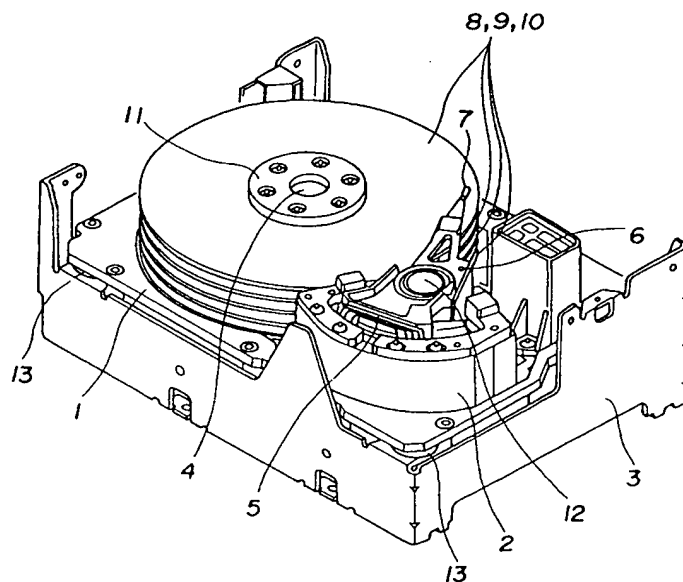
代理人 弁理士 武 顯次郎（外1名）



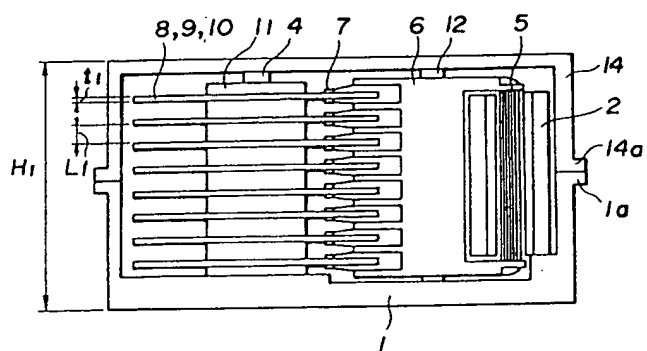
23

24

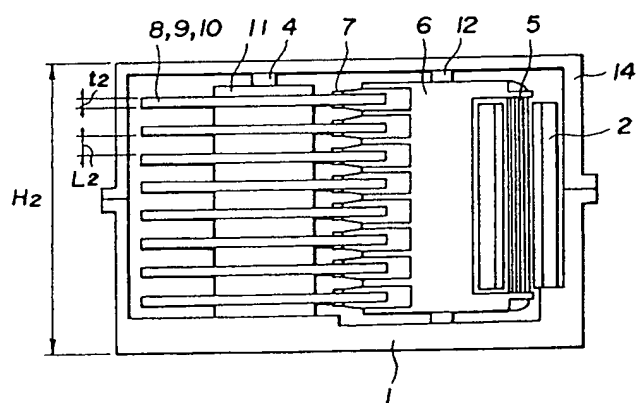
第1図



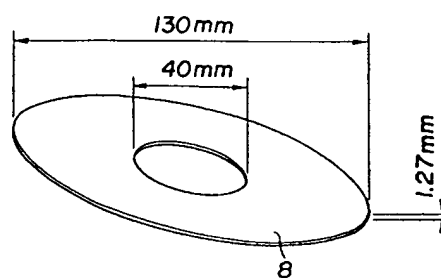
第 2 図



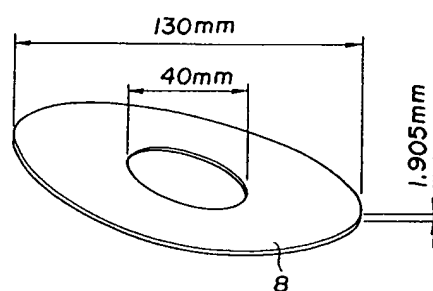
第 3 図



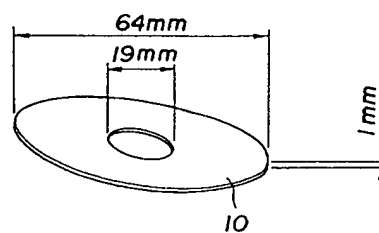
第 4 図



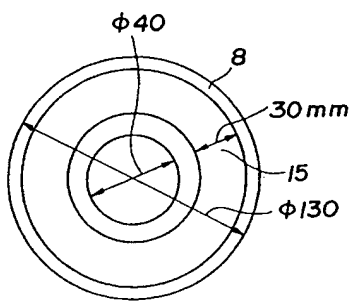
第 5 図



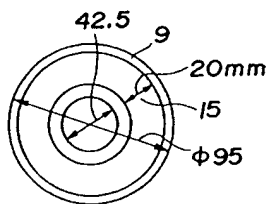
第 6 図



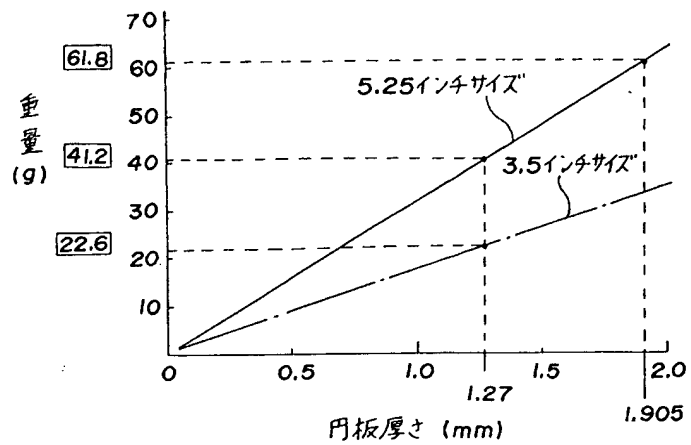
第 7 図



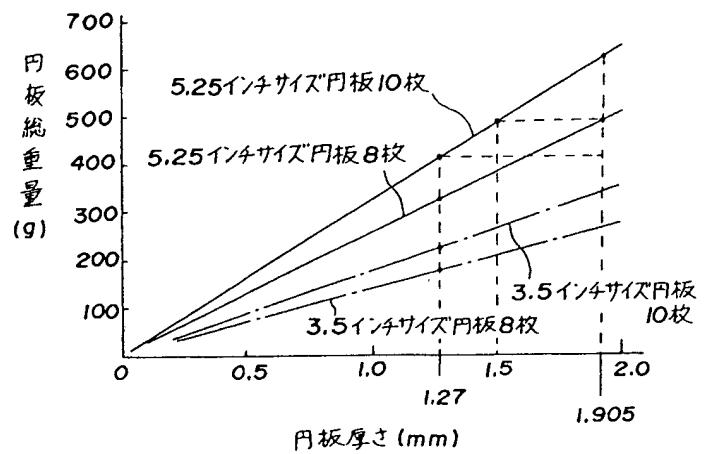
第 8 図



第 9 図



第 10 図



MAGNETIC DISK DEVICE
[Jiki Deisuku Sochi]

Akio Takatsuka, et al.

UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE
Washington, D.C. October 2002

Translated by: Schreiber Translations, Inc.

Country : JP
Document No. : H4-205776
Document Type : A
Language : Japanese
Inventor : Akio Takatsuka, Hideaki Amano,
Shigeo Nakamura
Applicant : Hitachi Ltd.
IPC : G11B 25/04, G11B 23/03, G11B 25/04
Application Date : November 29, 1990
Publication Date : July 27, 1992
Foreign Language Title : Jiki Deisuku Sochi
English Title : Magnetic Disk Device

1

SPECIFICATION

1. Title of the Invention

Magnetic Disk Device

2. Claims

1. A magnetic disk device having a spindle device which drives to rotate plural magnetic disks which are stacked at a specified pitch, a magnetic head device which floats above the magnetic disk surface and performs recording or reproduction, and a case which houses the spindle device and the magnetic head device, wherein it is constituted such that plural kinds of magnetic disks having different diameters but same thickness are used as said magnetic disks, said spindle device attaches said plural kinds of magnetic disks all at the same pitch, and said magnetic head device is capable of recording and reproduction without changing the pitch for any of said plural kinds of magnetic disks.

2. The magnetic disk device recited in claim 1, wherein said plural kinds of magnetic disks include those having 5.25 inch diameter and those having 3.5 inch diameter, and all have thickness set to the same value within a range of 1.27mm to less than 1.905mm.

3. The magnetic disk device recited in claim 1, wherein it is

¹Numbers in the margin indicate pagination in the foreign text.

constituted such that all of said plural kinds of magnetic disks have the same storage capacity.

4. The magnetic disk device recited in claim 3, wherein it is constituted such that all kinds of said plural kinds of magnetic disks have the same storage capacity by setting the track density in inverse proportion to the width in the radial direction of the data storage area.

5. The magnetic disk device recited in claim 3, wherein it is constituted such that all kinds of said plural kinds of magnetic disks have the same storage capacity by setting the recording density in the track length direction in inverse proportion to the width in the radial direction of the data storage area.

3. Detailed Explanation of the Invention

(Field of Use in the Industry)

The present invention pertains to a magnetic disk device

/2

having stacked magnetic disks, and in particular, it relates to a magnetic disk device that is made such that high-speed rotation is performed well by making the magnetic disks lightweight, and high-speed access is performed by making the integrated carriage with magnetic head arm lightweight.

(Prior Art)

In the magnetic disk device of the past, for example as published in the specification of USP 4,796,122, the head part is constituted by a so-called integrated carriage in which the head arm and the carriage are integrally formed, and the disk drive

part is of a structure in which nine magnetic disks are mounted on a spindle motor having an in-hub structure (structure in which the magnet, stator, and coil of the magnetic disk drive motor are packaged inside a cylindrical part which stacks and attaches the magnetic disks) and are clamped from above, and in particular, the concept of reducing the thickness of the magnetic disks to make them lightweight for the purpose of speeding up rotation is not touched upon.

Also, as the magnetic disks which are used in such stacked type hard magnetic disk devices, those which are called 5 inch type and have 130mm (5.25 inch) outer diameter, 40mm inner diameter, and 1.905mm thickness have been used from the past, but most recently, those which are called 3.5 inch type and have 95mm (3.5 inch) outer diameter, 25mm inner diameter, and 1.27mm thickness have come to be used. (Below, magnetic disks are called "disks," those which have 5.25 inch outer diameter are called "5.25 inch size disks," and those which have 3.5-inch outer diameter are called 3.5 inch size disks.") However, between 5.25 inch size disks and 3.5 inch size disks, the thickness is different as noted above, and consequent to that, the height (pitch) of the respective disks which are stacked on the spindle device in the magnetic disk device, and the height (pitch) of the corresponding magnetic heads, also are different. (Problems the Invention Attempts to Solve)

The above prior art has not considered as far as the problems caused by the thickness and the weight of the disks,

namely, the minimum rigidity of the disks which is necessary for characteristics, the allowable amount of deformation of the disks due to clamping, the external vibration-proof/external impact resistance characteristics related to the total weight of the disks supported by the motor bearing with respect to the speeding up of rotation (meaning amount of deformation of the disks and damage to the motor bearing when external vibration and external shock are applied to the entire device. In this case, the proportions of amount of deformation and amount of damage to the bearing are represented as %. This value becomes smaller with respect to the external vibration and impact as the weight becomes lighter at the same amount of acceleration.), and optimization of the lifetime of the bearing (achieving lengthening of lifetime, giving a margin to the necessary lifetime as a device), and mainly the disk thickness has been determined primarily from the aspects of storage capacity, surface density, and disk production equipment and materials, and the like.

Also, in the prior art, because the pitch (height) of attachment of disks with respect to the spindle and the pitch (height position) of each head of the corresponding magnetic disk device differs between magnetic disk devices that use 5.25 inch size disks and magnetic disk devices that use 3.5 inch size disks, and it was not possible to perform recording and reproduction of 3.5 inch size disks using magnetic disks devices for 5.25 inch size disks.

Accordingly, the purpose of the present invention is to solve the above problems of the prior art, and to provide a magnetic disk device that is made such that magnetic disks having comparatively small outer diameter (3.5 inch size disks) also can be used by a magnetic disk device that is designed for magnetic disks having comparatively large outer diameter (5.25 inch size disks) when performing recording and reproduction of plural kinds of magnetic disks having different outer diameters.

Another purpose of the present invention is to provide a magnetic disk device that can handle magnetic disks having even smaller outer diameter using a magnetic disk device in which the size of the case was designed for 5.25 inch size disks.

Yet another purpose of the present invention is to provide a magnetic disk device that avoids the occurrence of troubles accompanying speeding up of rotation of the magnetic disks by making the magnetic disks as lightweight as possible.

Yet another purpose of the present invention is to provide a magnetic disk device in which the storage capacity of various magnetic disks having different outer diameters can be made the same.

/3

(Means for Solving the Problems)

In order to achieve the above purposes, the magnetic disk device of the present invention is constituted such that plural kinds of magnetic disks having different diameters but same thickness are used as said magnetic disks, all of these plural

kinds of magnetic disks are attached at the same pitch (height) on the spindle device which drives to rotate the magnetic disks, and the magnetic head device is capable of recording and reproduction without changing the pitch (height) for any of those plural kinds of magnetic disks.

Specifically, the plural kinds of magnetic disks include those having 5.25 inch diameter and those having 3.5 inch diameter, and all have thickness set to the same value within a range of 1.27mm to less than 1.905mm, and preferably to 1.27mm.

Also, in order to make it such that these plural kinds of magnetic disks have the same storage capacity, the track density or the recording density in the track length direction is made inverse proportional to the width in the radial direction of the data storage area of the magnetic disk.

(Operation)

The operation based on the above constitution is explained.

According to the present invention, by making same the thickness of the plural kinds of magnetic disks having different diameters, because the pitch (height) of attachment of the magnetic disks with respect to the spindle device and the pitch (height) of each magnetic head with respect to each magnetic disk can be made the same among these plural kinds of magnetic disks, it becomes possible to perform recording and reproduction of small diameter magnetic disks using a magnetic disk device for large diameter magnetic disks.

Specifically, large diameter disks have standard 5.25 inch

size outer diameter, small diameter disks have 3.5 inch size outer diameter, and the thickness of both is 1.27mm. In the past, those having 1.27mm thickness in 3.5 inch size were known, but there were only those having 1.905mm thickness in 5.25 inch size, and those having 1.27mm thickness were not known.

Accordingly, in 5.25 inch size, compared with the prior art, the thickness is reduced 33% from 1.905mm to 1.27mm, the weight also is reduced likewise, and the weight burden on the bearing, the inertial moment of rotation, and the gyro moment also are reduced by the same percent. Therefore, it becomes possible to speed up rotation of the magnetic disks without obstruction.

Also, if the thickness of the 5.25 inch size magnetic disks is made 1.27mm, due to the fact that it becomes the same as the 1.27mm thickness of the 3.5 inch size magnetic disks presently used, it becomes possible to perform manufacturing and processing of 5.25 inch size magnetic disks by reusing and also easily modifying the processing technology and processing machinery of the 3.5 inch size magnetic disks presently used.

Here, the reason why the thickness is made 1.27mm is explained. The surface of the disk must be processed smoothly with good precision for the magnetic head to float at an amount of float of about 0.2 μ m. In order to process while maintaining this surface roughness, a certain extent of disk thickness becomes necessary in terms of processing technology and the minimum value presently obtainable is 1.27mm. (Accordingly, if the processing technology can be improved, the thinner the

better.) As the substrate material of the disk, the presently used Al and glass are used because of strength, weight, and the like.

Furthermore, because the storage capacity of each kind of magnetic disk, for example 3.5 inch size magnetic disk, is made the same as the storage capacity of the 5.25 inch size magnetic disk, those of 3.5 inch size can be used for recording and reproduction of the same quantity of data as the 5.25 inch size. (Working Examples)

Below, working examples of the present invention are explained with the drawings.

Fig. 1 is a perspective view of an outline of the overall constitution of the magnetic disk device in one working example of the present invention. In the same drawing, a case 1 and a cover (omitted in this drawing) which seal the basic constituent components from the external atmosphere are supported and fixed by a frame 3 via vibration-proof rubber 13. On the base 1, a spindle motor 4 for rotating the disks at a constant speed is mounted, and on the spindle motor 4, plural disks 8 or 9 or 10 are stacked around it via spacers for opening a fixed distance (in-hub type structure), and they are clamped by a clamp 11 above and fixed with a screw. Here, 8 is a 5 inch (properly 5.25 inch) diameter size disk,

/4

24 9 is a 3.5 inch diameter size disk, and 10 is a 2.5 inch diameter
26 size disk, and the present working example is made such that

these various kinds of disks can be attached as substitutes for each other. Also, magnetic heads 7 which perform recording and reproduction are fixed by adhesive, via a gimbal for controlling the posture of those heads in opposition to the floating force caused by the rotation of the disks, to one end of an integrated carriage (one in which a load arm for causing pressing force for causing the heads to float above the magnetic disks at a fixed amount of float in opposition to that floating force, a carriage, and a coil support part are integrated) 6. The integrated carriage 6 is supported by a shaft bearing mechanism so as to be capable of rotating and sliding around a pivot shaft 12, and a coil 5 is attached to the end of the integrated carriage 6 in a position on the side opposite the heads 7. Also, as a feature of the present working example, the material of the integrated carriage 6 is formed with aluminum alloy, magnesium alloy, or a substance having specific gravity smaller than aluminum, for example, resin, or the like. The shaft bearing for performing rotational movement around the central axis of rotation of the carriage is directly and integrally bonded to the carriage. Torque around the pivot shaft 11 < sic: 12 > is caused in the coil 5 by leading current to the coil 5 in a magnetic field which is caused by the magnet of a voice coil motor 2, whereby the integrated carriage 6 is driven to rotate, and the magnetic heads are fixed at a fixed position above the magnetic disks.

In the integrated carriage 6, a bearing (not illustrated) is inserted from straight vertical direction.

Now, as a feature of the present working example, if the 5.25 inch diameter disk 8 which in the past had a thickness of 1.905mm is changed to 1.27mm, the total weight of the disks can be reduced to an amount equivalent to the thickness ratio $1.27/1.905 = 0.67$, 67%. By this weight reduction, (1) the service lifetime of the <spindle motor> bearing can be reduced 33%, (2) the inertial moment of the rotating body also can be reduced 33%, and (3) the gyro moment with respect to external and automatic vibration also can be reduced 33%, and as effects thereof, there are effects such as (1) the lifetime of the bearing is extended (because the excess pressure applied to the bearing is reduced by the amount of reduction of supported weight), (2) the motor rotation startup characteristics are improved and the current during motor rotation is reduced, and (3) the vibration-proof and external impact resistance characteristics are improved.

Furthermore, when the rotational speed of the disks 8 is speeded up from 3600rpm to 5400rpm, the fact that the thickness of the disks is made thinner is particularly effective in obtaining the effects of (1)-(3) above. This is because in speeding up the rotational speed, making the rotational speed n times, although there is no change in the total weight, the burden on the bearing is n^2 times ($F = mrw^2$), the gyro moment is n times ($J = I\omega$), and while simple comparison of the motor characteristics is difficult, the startup time is increased n times by the increase of rotational speed (here, $w = 2\pi n$).

It goes without saying that these effects are similarly obtained by changing the 5.25 inch size disks 8 to 3.5 inch size disks 9 or 2.5 inch size disks 10 or disks having smaller size.

When the disks 8 are made thinner, the displacement in the perpendicular direction to the disk surfaces can be reduced by weakening the clamping force of the clamp 11. As for the clamping force of the clamp 11, because the weight is made lighter by making the disks 8 thinner, the clamping force should be made weaker such that there is no decrease of impact resistance and vibration-proof characteristics.

Because making the disks 8 thinner is not related to the storage capacity per surface of the disks 8, the storage capacity is not decreased by making them thinner.

Furthermore, when the disks 8 are made thinner, because the total stacked dimension of the disks 8 is reduced, the component packaging space is enlarged above and below. As a result, because the thicknesses of the base 1 and the cover (not illustrated) can be enlarged to increase the rigidity, the resonance point of the motor shaft vibration and the carriage shaft vibration can be raised.

Fig. 2 and Fig. 3 show sectional views of the device in Fig. 1, and here, the state in which the cover 14 is attached to the base 1 is shown. Fig. 2 and Fig. 3 shows the relationships of the packaging dimensions when the disk thickness is $t = 1.27\text{mm}$ and $t = 1.905$, respectively. Because the relationship $t_1 < t_2$ is established concerning disk thicknesses t_1 and t_2 , and because L_1


= L2 concerning disk distances L1 and L2, in regard to the total packaging dimensions H1 and H2

/5

of the device, the relationship $H1 < H2$ by the amount of $(t2 - t1) \times 8$ is established, and the packaging dimensions can be reduced. L1 and L2 both can be set for example to 4.2mm or less than that.

The sealed case is constituted by the base 1 and the cover 14, and the two are divided near the center of height 1a and 14a, and the divided part is formed in a bowl shape having a wall, whereby it works to improve the rigidity of the case (cover and base) against compression and torsion, to improve the rigidity of support of the spindle shaft 4 and the carriage shaft 11 <sic: 12>, and to raise the resonance point.

Fig. 4 and Fig. 5 show the dimensions of 5.25 inch size disks. Fig. 4 shows the one used in the present working example which has 1.27mm thickness, and Fig. 5 shows the example of the past which has 1.905mm thickness. The disk thickness 1.27mm is the standard value of the disk thickness of the 3.5 inch disk, and by making it the same thickness as the 3.5 inch disk, securing of processing machinery and materials is made easy. Also, by this, it can be made such that recording and reproduction are performed by attaching 3.5 inch disks using a magnetic disk device designed for 5.25 inch disks without changing the height (pitch between each disk) of the plural disks attached on the spindle and without changing the height (pitch)



of each magnetic head corresponding to each disk. In this case, between 5.25 inch disks and 3.5 inch disks, those having substantially the same inner diameter (diameter of the center hole) are used, but a spindle that is capable of attaching even when the inner diameters of the two disks are different must be used.

When 3.5 inch disks are used with a case (base and cover) for 5 inch, there are such advantages as that (1) the 3.5 inch disks are cheaper than 5.25 inch; (2) when 3.5 inch disks are packaged, the size of the HDA overall can be made smaller, the PCB packaging dimensions can be made larger, and the HDA Sway space can be made larger; and (3) the disk diameter becomes smaller such that the weight/inertial moment and gyro moment received by the motor bearing become smaller.

Fig. 7 is a measurement drawing showing the data zone of a 5.25 inch magnetic disk, and Fig. 8 is a measurement drawing showing the data zone of a 3.5 inch magnetic disk. In the two drawings, 15 is the data zone (recording area), 8 is the 5.25 inch magnetic disk, 9 is the 3.5 inch magnetic disk, and the unit of measure is mm.

In order to make it such that 3.5 inch disks can be used in place of 5 inch size disks, the storage capacity of the two disks should be made the same. For this, the width in the radial direction of the data zone (data recording area) of the 5 inch size disk is 30mm, and the width in the radial direction of the data zone of the 3.5 inch size disk is 20mm, and because the

ratio becomes $2/3$, if the BPI (recording density in the linear direction: bits/inch) is made the same, the TPI (track density in the radial direction: tracks/inch) should be made $3/2 = 1.5$ times. Or, if the TPI is made the same, the BPI should be increased by $3/2 = 1.5$ times.

Fig. 9 is a graph plotting weight over disk thickness in the cases of one 5.25 inch size disk having 130mm outer diameter and 40mm inner diameter and one 3.5 inch size disk having 95mm outer diameter and 24mm inner diameter, respectively, and the 5.25 inch size disk becomes 61.8g when the thickness t is 1.905mm and 41.2g when t is 1.27mm, becoming 67% of the weight, and it is clear that 33% weight reduction can be accomplished. Also, at the same disk thickness 1.27mm, if the 3.5 inch size disk is 22.6g, it becomes about half the weight compared with the 41.2g of the 5.25 inch size disk. Fig. 10 is a plot of disk total weight over disk thickness in the cases of 8 and 10 5.25 inch size disks having 130mm outer diameter and 40mm inner diameter and the cases of 8 or 10 3.5 inch size disks having 95mm outer diameter and 25mm inner diameter. From these graphs, it is clear that the total weight of 8 stacked 5.25 inch size disks having thickness $t = 1.905\text{mm}$ is greater than the total weight of 10 stacked disks having thickness $t = 1.27\text{mm}$. The same can be said also for 3.5 inch size disks and 2.5 inch size disks.

Below, the functional characteristics according to the above working example are summed up.

By making the thickness of the magnetic disk thinner

from 1.905mm to 1.27mm:

(1) As shown in Fig. 9, because the total weight of the disks is reduced to about 67% from 61.8g to 41.2g per disk, if compared with 8 disks, it can be lightened from 494g to 330g, and there is the effect that the lifetime of the motor bearing which supports this weight also can be made longer proportionally.

(2) As shown in Fig. 10, compared with the 494g total weight of 8 disks having $t = 1.905$, since it is the same as the total weight of 12 disks having $t = 1.27$, if the number of packaged disks having $t = 1.27\text{mm}$ is made greater than 8 and less than 12 within the allowable range of packaging dimensions, there is the effect that the total storage capacity can be increased without changing the rotation startup characteristics, the rotational characteristics, the bearing lifetime, and the like.

(3) Because the total weight of the disks can be lightened to about 67%, there are the effects that the external vibration-proof/external impact resistance characteristics are improved 33%, and the startup characteristics during rotation startup also are improved 33% by the amount that the inertial moment of the rotating body is lightened because the startup torque does not change, or, even if the startup characteristics are not changed, the startup current can be reduced 33%.

(4) By the fact that the thickness dimension of the disk is reduced from $t = 1.905\text{mm}$ to $t = 1.27\text{mm}$, when 8 disks are packaged, total 5.08mm, the packaging height dimension comes to

be reduced, the height of the device dimensions is reduced, and there is the effect that (1) PCB (Package Board: circuit board) packaging and (2) assurance of Sway Space of the HDA (Head Disk Assembly) due to vibration/impact (gap for HDA not to contact with other components when vibrating) are possible.

(5) In relation to the above (4), because the height dimension of the carriage also is reduced to about 90% from 55mm to 49mm proportional to the reduction of the disk packaging height dimension, it is also reduced to 90% in weight, the resonance frequency of the shaft system which supports the carriage is improved by 5.6%, and the gain of the open loop characteristics also can be improved by 0.47dB. As a result, there is the effect that the vibration during settling and during following can be checked.

(6) The relationships with centrifugal force and gyro moment received by the bearing accompanying speedup of rotation become as in the tables:

(Centrifugal Force Ratio: mrw^2)

Rotational Speed rpm	3600	4800	5400	6000
t 1.905 x 8 disks	1	1.78	2.25	2.78
t 1.27 x 7 disks	0.667	1.19	1.5	1.85

(Gyro Moment)

Rotational Speed rpm	3600	4800	5400	6000
J: Inertial Moment	0.833	0.833	0.833	0.833
W: Angular Velocity of	1	1.33	1.5	1.67

Rotation

ö: Angular Velocity of 1 1 1 1

External Disturbance

JWö 0.833 1.108 1.27 1.39

and by making the disks thinner, there is the effect that the centrifugal force and the gyro moment both can be controlled to 67%.

(Effect of the Invention)

As explained in detail above, according to the present invention, because the thickness of plural kinds of magnetic disks having different diameters is made the same, it becomes possible to handle small diameter magnetic disks with a device for large diameter magnetic disks by making the pitch of attachment of those magnetic disks on the spindle and the pitch of the magnetic heads the same among the various kinds of disks.

Also, in the case of 5.25 inch size magnetic disks, because their thickness is made 1.27mm which is the same as the thickness of the 3.5 inch size magnetic disks, the weight is reduced by 33% compared with those being 1.905 of the past, as a result of which the lifetime of the bearing, the motor rotation startup characteristics, reduction of the current value during startup, and the vibration-proof/external impact resistance characteristics can be improved without decreasing the storage capacity, increase of centrifugal force/gyro moment accompanying high-speed rotation can be avoided, and increase of vibration, and the like, can be suppressed.

4. Brief Explanation of the Drawings

Fig. 1 is a perspective view showing the overall constitution of one working example of the present invention, Fig. 2 is a sectional view of the magnetic disk device in which magnetic disks having 1.27mm thickness are mounted, Fig. 3 is a sectional view of the magnetic disk device in which magnetic disks having 1.905mm thickness are mounted, Fig. 4 is a perspective view of a thin type

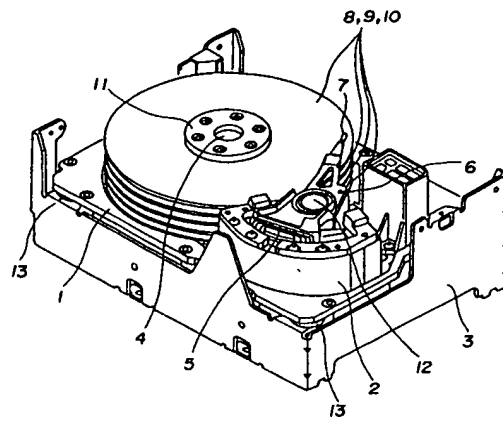
/7

5.25 inch magnetic disk having 1.27mm thickness, Fig. 5 is a perspective view of a standard 5.25 inch magnetic disk having 1.905mm thickness, Fig. 6 is a perspective view of a standard 2.5 inch magnetic disk having 1mm thickness, Fig. 7 is a measurement drawing showing the data zone of a 5.25 inch magnetic disk, Fig. 8 is a measurement drawing showing the data zone of a 3.5 inch magnetic disk, Fig. 9 is a graph showing the relationship of weight over disk thickness between a 5.25 inch aluminum magnetic disk and a 3.5 inch aluminum magnetic disk, and Fig. 10 is a graph showing the relationship of disk thickness over total weight when 8 or 10 disks are mounted between 5.25 inch aluminum magnetic disks and 3.5 inch aluminum magnetic disks.

1: Base, 2: Voice coil motor, 3: Frame, 4: Spindle motor, 5: Coil, 6: Integrated carriage, 7: Magnetic head, 8: 5.25 size magnetic disk, 9: 3.5 inch size magnetic disk, 10: 2.5 inch size magnetic disk, 11: Disk clamp, 12: Pivot shaft, 13: Vibration-proof rubber, 14: Cover, 15: Data zone (Recording area).

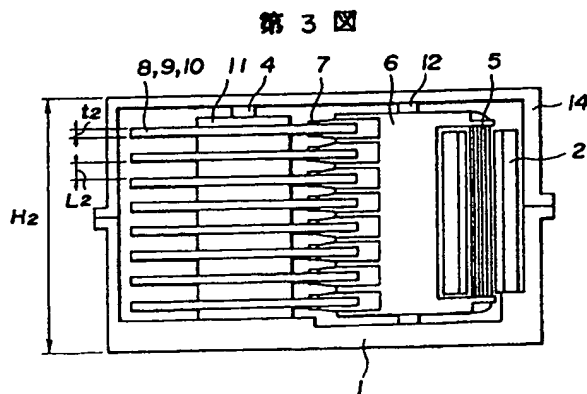
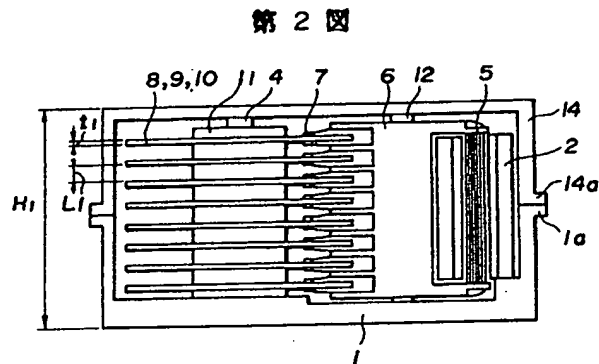
Agent Attorney Kenjiro Take (1 other)

FIGURE 1.

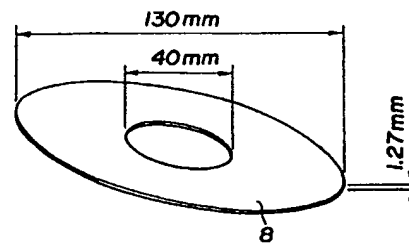


/8

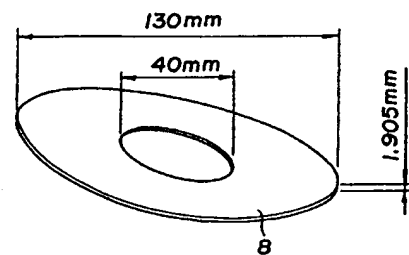
FIGURES 2-6.



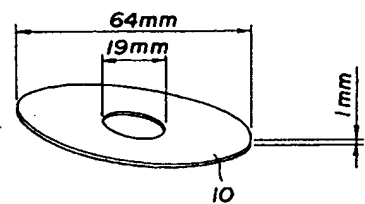
第 4 図



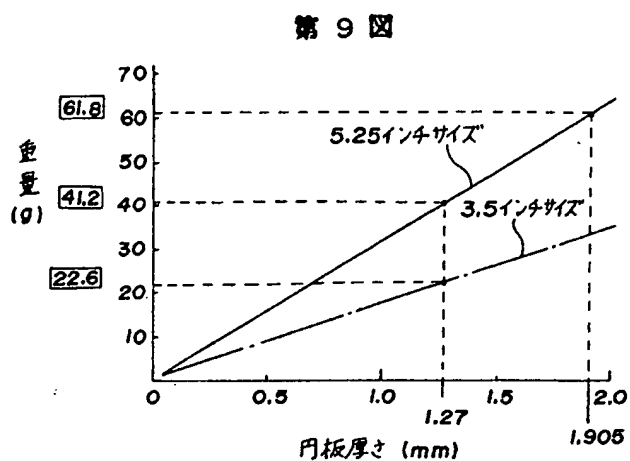
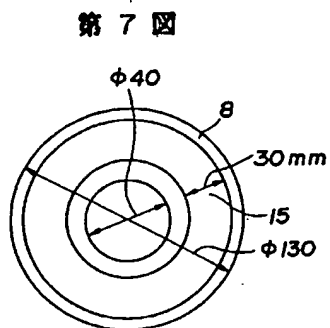
第 5 図



第 6 図



FIGURES 7 and 9.



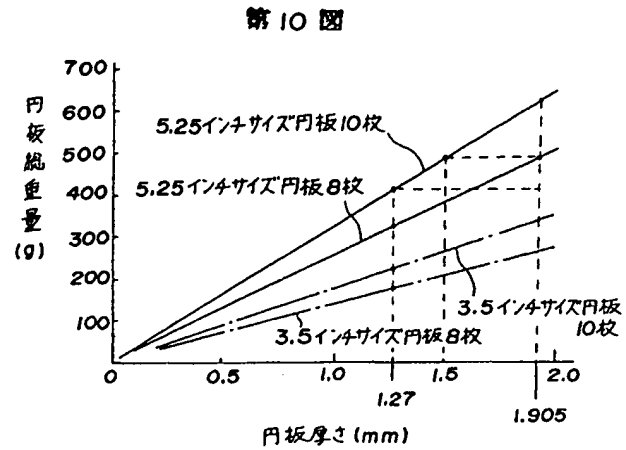
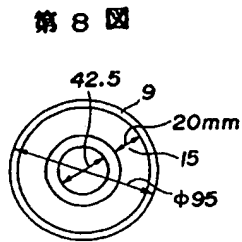
<vertical> Weight (g)

<horizontal> Disk thickness (mm)

5.25 inch size

3.5 inch size

FIGURES 8 and 10.



<vertical> Total weight of disks (g)

<horizontal> Disk thickness (mm)

5.25 inch size 10 disks

5.25 inch size 8 disks

3.5 inch size 10 disks

3.5 inch size 8 disks